

пределение электрического потенциала в ванне электрополирования. Исследовать его можно с помощью набора датчиков  $E1-EN$  и запоминающего устройства, выполненного на базе конденсаторов  $C1-CN$  небольшой емкости и диодных ключей  $VD1-VDN$  (рис. 2).

При включении рабочего напряжения около анода 4 образуется парогазовая оболочка 3. Между анодом и катодом 1 (корпусом ванны) в электролите 2 возникает электрический ток, приводящий к перераспределению электрического потенциала в ванне. После установления стабильной парогазовой оболочки переключателем  $Q1$  к катоду подключают конденсаторы  $C1-CN$ . После зарядки конденсаторы отключают от катода и выключают рабочее напряжение. Характерные для каждой исследуемой точки ванны электрополирования напряжения измеряют в контрольно-измерительных точках  $KTI-KTN$  высокоомным вольтметром, например типа В7-27А.

Таким образом, с помощью разработанных устройства и методики можно определить толщину парогазовой оболочки, исследовать электрические и физические характеристики импульсных разрядов и объемное распределение электрического потенциала в ванне при электроимпульсном полировании для различных технологических режимов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчет толщины парогазовой оболочки при электроимпульсном полировании металлов / О.И. Авсеевич, Ю.В. Синькевич, Е.Я. Головкина и др. // Машиностроение. — Мн., 1989. — Вып. 14. — С. 68–71.

УДК 621.9.02

В.Б. ШПЕКТОР (БПИ)

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ШАГА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

В настоящее время винтовые поверхности (ВП) переменного шага практически не применяются при проектировании и изготовлении режущего инструмента, лишь за немногим исключением [1] рассматриваются вопросы теории их проектирования.

ВП переменного шага могут эффективно использоваться при заточках режущего инструмента и при выполнении стружечных канавок, для обеспечения оптимальных углов резания и условий отвода стружки.

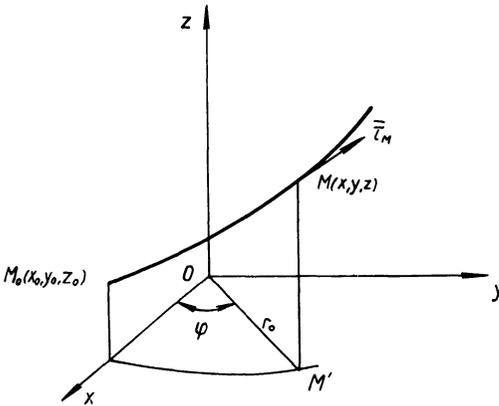
Винтовое движение переменного шага твердого тела определяется как сложное, состоящее из вращательного вокруг постоянной оси и поступательного, параллельного этой оси:

$$z = f(\varphi),$$

где функция  $f(\varphi)$  однозначная и достаточное число раз дифференцируемая.

Предлагаемая методика расчета ВП переменного шага несколько отличается от существующих [1, 2] тем, что может использоваться для практических расчетов при проектировании режущих инструментов.

Рис. 1. Винтовая линия в декартовых координатах



Рассмотрим движение точки  $M$  по винтовой линии переменного шага (рис. 1) в правой декартовой системе координат, расположенной на поверхности цилиндра.

Пусть точка  $M$  перемещается по цилиндрической поверхности с радиусом основания цилиндра

$$r_0 = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}.$$

Движение точки  $M$  можно описать уравнением

$$z = r_0 (\operatorname{tg} \alpha_0 \varphi + m \varphi^k), \quad (1)$$

где  $\alpha_0$  — начальный угол подъема винтовой линии;  $\varphi$  — угол поворота радиуса  $r_0$  от исходной точки к рассматриваемой;  $m$  — коэффициент, определяющий характер изменения угла подъема винтовой линии;  $k$  — показатель степени, который характеризует скорость увеличения (уменьшения) угла подъема винтовой линии.

При  $m = 0$  уравнение (1) принимает вид

$$z = r_0 \operatorname{tg} \alpha_0 \varphi. \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает обыкновенную винтовую линию постоянного шага [1]. Исходя из этого, можно считать, что уравнение (1) характеризует винтовую линию в общем виде.

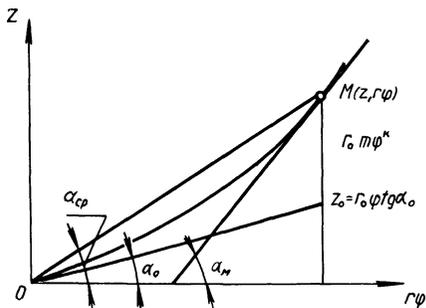
Продифференцируем уравнение (1):

$$\frac{dz}{d\varphi} = r_0 (\operatorname{tg} \alpha_0 + mk \varphi^{k-1}). \quad (3)$$

При  $k = 2$  уравнение (3) примет вид

$$\frac{dz}{d\varphi} = r_0 (\operatorname{tg} \alpha_0 + 2m\varphi). \quad (4)$$

Рис. 2. Винтовая линия в координатах  $r, \varphi, Z$



Правая часть уравнения (4) линейна относительно переменной, что доказывает равномерность увеличения угла подъема винтовой линии.

Проанализируем уравнение (1) при  $k = 2$ . Развернем винтовую линию на плоскости и представим ее в координатах  $(r, \varphi, Z)$  (рис. 2).

Угол наклона касательной к винтовой линии можно определить из следующей зависимости:

$$dz = r_0 \operatorname{tg} \alpha_M d\varphi . \quad (5)$$

Из уравнения (5) определим  $\frac{dz}{d\varphi}$ , и решим его совместно с уравнением (4):

$$\begin{aligned} \frac{dz}{d\varphi} &= r_0 \operatorname{tg} \alpha_M ; r_0 \operatorname{tg} \alpha_M = r_0 (\operatorname{tg} \alpha_0 + 2m\varphi) ; \\ \operatorname{tg} \alpha_M &= \operatorname{tg} \alpha_0 + 2m\varphi . \end{aligned} \quad (6)$$

С помощью уравнения (6) определим коэффициент  $m$ :

$$m = \frac{\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha_0}{2\varphi} . \quad (7)$$

Из уравнения (7), зная начальный и конечный углы подъема винтовой линии, можно найти коэффициент  $m$ , который определит характер изменения угла наклона винтовой линии по длине режущего инструмента.

Если длина нарезанной части инструмента  $z = L$ , то уравнение (1) с учетом выражения (7) примет следующий вид:

$$L = r_0 \left( \varphi \operatorname{tg} \alpha + \frac{\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha_0}{2\varphi} \varphi^2 \right) = r_0 \varphi \frac{\operatorname{tg} \alpha_M + \operatorname{tg} \alpha_0}{2} . \quad (8)$$

Угол поворота определим из следующей зависимости:

$$\varphi = 2\pi n ,$$

где  $n$  — число оборотов винтовой линии вокруг оси  $OZ$ .

Тогда уравнение (8) примет вид

$$L = r_0 2\pi n \frac{\operatorname{tg} \alpha_M + \operatorname{tg} \alpha_0}{2} = \pi n r_0 (\operatorname{tg} \alpha_M + \operatorname{tg} \alpha_0) . \quad (9)$$

По уравнению (9) определим число оборотов, которое совершит точка  $M$  на длине нарезанной части инструмента:

$$n = \frac{L}{\pi r_0 (\operatorname{tg} \alpha_M + \operatorname{tg} \alpha_0)}$$

Исходя из условия известности величины нарезанной части режущего инструмента и углов подъема винтовой линии

$$\begin{aligned} m &= \frac{\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha_0}{2\varphi} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha_0}{4\pi n} = \\ &= \frac{(\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha_0) (\operatorname{tg} \alpha_M + \operatorname{tg} \alpha_0) r_0}{4L} = r_0 \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha_M - \operatorname{tg}^2 \alpha_0}{4L} \end{aligned}$$

При  $m > 0$   $\alpha_M > \alpha_0$ , при  $m < 0$   $\alpha_M < \alpha_0$ .

Определим средний угол подъема винтовой линии. Из расчетной схемы на рис. 2 следует:

$$z = r_0 \varphi \operatorname{tg} \alpha_{\text{cp}} \quad (10)$$

Совместное решение уравнений (10), (2), (7) дает следующее выражение:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{cp}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0 + \operatorname{tg} \alpha_M}{2}$$

По описанной методике можно определить уравнение винтовой линии переменного шага на любом теле вращения с осью вращения  $OZ$ . Пусть имеется поверхность вращения, заданная параметрическими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(u, \varphi); \\ y &= f_2(u, \varphi); \\ z &= f_3(u, \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Тогда каждое положение точки  $M$  кривой, расположенной на поверхности (11), определится тремя ортами  $\bar{r}, \bar{v}, \bar{\beta}$ , образующими главные направления в этой точке. Три плоскости, соответствующие этим ортам — нормальная  $N$ , спрямляющая  $Q$ , соприкасающаяся  $S$ , — образуют в точке  $M$  сопровождающий трехгранник Френе.

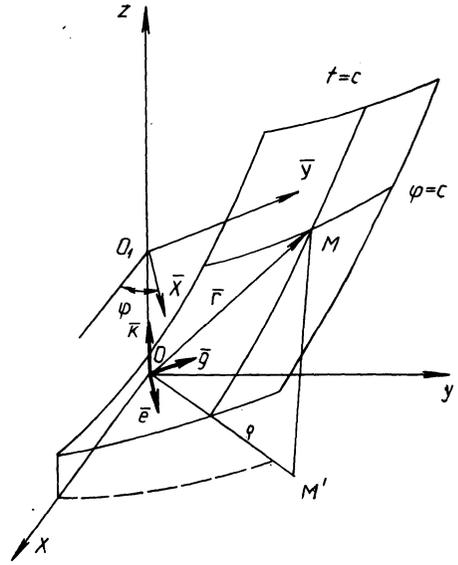
Векторное уравнение линии в подвижном репере ( $\bar{e}; \bar{g}; \bar{k}$ ) имеет вид

$$\bar{r} = r_0 \bar{e}(\varphi) + f(\varphi) \bar{k} = r_0 \bar{e} + \bar{k}f.$$

Три главных направления в точке  $M$  определяются векторами [1]:

$$\bar{r} = \frac{r_0 \bar{e}' + \bar{k}f'}{\sqrt{r_0^2 + f'^2}};$$

Рис. 3. Винтовая поверхность



$$\bar{v} = \frac{-(r_1^2 + f'^2)\bar{e} - f'f''\bar{g} + r_0f'''\bar{k}}{\sqrt{r_0^2 + f'^2 + f''^2} \sqrt{r_0^2 + f'^2}};$$

$$\bar{\beta} = \frac{f''\bar{e} - f'\bar{g} + r_0\bar{k}}{\sqrt{r_0^2 + f'^2 + f''^2}}.$$

Кривизна и кручение в каждой точке кривой вычисляются по формулам:

$$k = \frac{r_1 \sqrt{r_0^2 + f'^2 + f''^2}}{(r_0^2 + f'^2)^{\frac{3}{2}}}; \quad T = \frac{f' + f'''}{r_0^2 + f'^2 + f''^2}.$$

Угол подъема винтовой линии

$$\operatorname{tg} \alpha_i = f'/r_1.$$

В результате винтового движения переменного шага некоторой кривой образуется винтовая поверхность переменного шага. Пусть на поверхности относительно подвижной системы  $O_1XYZ$  (рис. 3) задана кривая (образующая линия поверхности):

$$x = f_1(t); \quad y = f_2(t); \quad z = f_3(t). \quad (12)$$

Тогда уравнения винтовой поверхности переменного шага можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= X \cos \varphi - Y \sin \varphi; \\ y &= X \sin \varphi + Y \cos \varphi; \\ z &= Z + f(\varphi). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решая совместно уравнения (12) и (13), получим:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(t) \cos \varphi - f_2(t) \sin \varphi; \\ y &= f_1(t) \sin \varphi + f_2(t) \cos \varphi; \\ z &= f(\varphi) + f_3(t). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Используя формулу (1), перепишем уравнения (14) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(t) \cos \varphi - f_2(t) \sin \varphi; \\ y &= f_1(t) \sin \varphi + f_2(t) \cos \varphi; \\ z &= r_i (\operatorname{tg} \alpha_0 \varphi + m \varphi^k) + f_3(t), \end{aligned} \right\}$$

где  $r_i = \sqrt{f_1^2(t) + f_2^2(t)}$ .

В векторной форме относительно репера  $(\bar{e}; \bar{g}; \bar{k})$  уравнения (14) примут вид

$$\bar{r} = f_1(t) \bar{e}(\varphi) + f_2(t) \bar{g}(\varphi) + \bar{k} [f(\varphi) + f_3(t)]$$

или при использовании уравнения (1)

$$\bar{r} = f_1(t) \bar{e}(\varphi) + f_2(t) \bar{g}(\varphi) + \bar{k} [r_i (\operatorname{tg} \alpha_0 \varphi + m \varphi^k) + f_3(t)].$$

Предлагаемая методика расчета винтовых поверхностей переменного шага позволяет проводить проектные расчеты режущего инструмента различного назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. — М., 1968. — 370 с.
2. Дружинский И.А. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение. — Л., 1985. — 263 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М., 1977. — 831 с.

УДК 621.924.8

А.Л. АБУГОВ,  
И.Л. БАРШАЙ, канд. техн. наук (БПИ)

#### КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

При обработке поверхностей цилиндрических деталей из стали Ст10 (диаметр детали 22 мм) применялась цилиндрическая иглофреза с на-